

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Карпенко Дмитро Сергійович



УДК 644.1

**РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВИХ ЗАСАД ВПРОВАДЖЕННЯ РИНКІВ
ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Спеціальність 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теплотехніки та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Дешко Валерій Іванович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», завідувач кафедри теплотехніки та
енергозбереження.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, ст.н.с.
Новосельцев Олександр Вікторович,
Інститут технічної теплофізики НАН України, член-
кореспондент НАН України, провідний науковий
співробітник відділу теплофізичних основ
енергоощадних технологій;

кандидат технічних наук
Маляренко Олена Євгеніївна,
Інститут загальної енергетики НАН України, старший
науковий співробітник, завідувач відділу ефективності
енерговикористання та оптимізації енергоспоживання.

Захист відбудеться “11” грудня 2020 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.20 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корпус 22, аудиторія 701.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «7» листопада 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. І. Замулко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Коливання цін на світових ринках викопних органічних палив призвели до стрімкого розвитку технологій у сегменті відновлюваних джерел енергії. Різноманіття цих технологій з кожним роком показує стрімке зростання рівня конкурентоспроможності в сфері енергетики в загальному розумінні. В зв'язку з цим, постає питання ефективного використання надлишкових ресурсів, які утворюються внаслідок природних процесів або роботи підприємств різних сфер економіки держави. Серед пріоритетних напрямів утилізації надлишкових місцевих ресурсів слід виділяти ринкові механізми. Створення конкурентних умов в сфері теплопостачання може призвести до підвищення рівня якості теплової енергії як товару для споживача, зниження тарифів на теплову енергію, та підвищення рівня надійності теплопостачання.

Проблеми енергетичних ринків та методів їх аналізу відображені в наукових працях таких науковців, як А. Стенніков, А. В. Пеньковський, О. В. Хамісов, В. Г. Семенов, Л.Д. Гительман, Б. Е. Ратніков, Г. Г. Гелетуха, Benny Bohm, Helge V. Larsen, Wen Liu, Diederik Klip, В., однак ідея локальних ринків теплової енергії не до кінця формалізована у вигляді аналітичних та ігрових моделей, які б могли показувати вплив тих, чи інших техніко-економічних параметрів на ефективність ринку, що в наслідку може давати відповідь на питання доцільності впровадження ринкових відносин у системах теплопостачання міст.

Відсутність будь-яких механізмів реалізації конкурентних умов в сфері теплопостачання України в законодавчому полі актуалізують проблему створення ринку теплової енергії в системах теплопостачання міст України. Вирішення проблеми створення ринку теплової енергії може призвести до синергетичного ефекту з точки зору підвищення рівня технічної, економічної та екологічної ефективності за рахунок використання ВДЕ та зниження ціна на теплову енергію для кінцевого споживача. Перед впровадженням ринкових відносин в сфері теплопостачання, вкрай важливо мати необхідний інструментарій для дослідження доцільності впровадження локальних ринків теплової енергії в системах централізованого постачання (СЦТ) міст України.

Саме тому актуальною науковою задачею є розробка методів та принципів впровадження та функціонування ринків теплової енергії, на основі яких, вищевизначені проблеми можуть бути вирішені.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Теоретичні дослідження і практичні розробки за темою дисертаційної роботи відповідають напрямку «Енергетика та енергоефективність» Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р. №2623-III, Державній цільовій програмі енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з

відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2021 роки, затвердженої постановою Кабінетом Міністрів України від 01.03.2010 р. №243. Дисертаційне дослідження виконувалося згідно плану наукових робіт кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського у рамках науково-дослідних робіт, №2009/1 «Управління енергоспоживанням об'єктів комунальної енергетики» (Номер держреєстрації - № 0117U000469). № 2046 «Дослідження оптимального функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів із застосуванням комплексного акумулювання електричної та теплової енергії» (Номер держреєстрації - № 0117U003825). №2205-р «Інжинірингові аспекти функціонування системи енергоменеджменту об'єктів житлово-громадської сфери» (Номер держреєстрації - № 0119U100670).

Мета і завдання дослідження

Метою дисертаційної роботи є розроблення засад впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії, та створення, на їх основі, методів та засобів оцінки ефективності ринкових відносин в системах теплопостачання.

Для досягнення мети були поставлені і вирішені такі основні задачі:

1. Провести аналіз літературних джерел з проблематики конкурентних відносин в системах теплопостачання, аналіз сучасного стану систем теплопостачання України та визначити основні перешкоди при запровадженні конкурентних умов в системах теплопостачання та визначити можливий потенціал і пріоритетні напрямки використання місцевих енергетичних ресурсів для виробництва теплової енергії в рамках ринку теплової енергії.

2. Розробити засади впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії в системах теплопостачання.

3. Розробити методи оцінки впровадження локальних ринків теплової енергії в системах теплопостачання у вигляді моделі.

4. Створити комп'ютерну модель у вигляді програмного забезпечення та виконати розрахунки, що підтверджують перевагу на користь ринкової моделі функціонування систем теплопостачання в порівнянні з існуючим станом, а також виконати оптимізаційні розрахунки, для оцінки характеру впливу ключових ринкових показників на відносну ефективність локального ринку теплової енергії (ЛРТЕ).

Об'єкт дослідження – процеси виробництва та постачання теплової енергії в системах теплопостачання в конкурентних умовах.

Предмет дослідження – наукові засади і методи оцінювання впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії в системах теплопостачання.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в дисертації задач були використані такі методи: метод системних досліджень в енергетиці при оцінці стану

впровадження конкурентної теплоенергетики в світі та Україні; метод порівняння при аналізі та співставленні ринку електричної енергії (РЕЕ) та ринку теплової енергії (РТЕ) в Україні; метод формалізації при розробці математичної моделі ЛРТЕ; лінійне програмування при розробці методу оптимізації витрат виробника при наявності декількох об'єктів теплогенерації; ігрове моделювання при оцінці ефективності ЛРТЕ при різних вихідних даних; регресійний аналіз при оцінці впливу ринкових параметрів на ефективність ЛРТЕ.

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає в тому, що
вперше:

- виконано формалізацію та розроблено імітаційну модель локального ринку теплової енергії, в якій власність основного вертикально-інтегрованого теплопостачального підприємства розподілена між відносно самостійними підприємствами з виробництва та транспортування теплової енергії (анбандлінг) з наданням вільного доступу до теплових мереж незалежним виробникам теплової енергії, що дозволяє кількісно визначати економічно доцільний потенціал підвищення ефективності функціонування ринку;

- запропоновано метод розподілу обсягів виробництва теплової енергії для виробників – учасників локального ринку теплової енергії, який дозволяє визначати оптимальний розподіл обсягів виробництва теплової енергії між їх об'єктами теплогенерації у випадках, коли за результатами аукціону купівлі-продажу теплової енергії виробник отримує можливість продати теплову енергію у меншій кількості, ніж була ним заявлена;

удосконалено:

- визначення поняття «ефективність локальних ринків» теплової енергії, яке на відміну від поняття «добробут ринку» визначається різницею економічного результату функціонування монопольного та конкурентного ринків теплової енергії, та де вигода досягається у зниженні тарифу на теплову енергію для споживачів;

- структурно-функціональні схеми взаємодії нових суб'єктів систем теплопостачання з основним виробником в рамках моделі «єдиного покупця», які на відміну від існуючих, враховують особливості функціонування систем теплопостачання в Україні та дозволяють сформулювати вимоги до складу суб'єктів ринку, виду і форми їх взаємодії та технологічної забезпеченості.

Практичне значення отриманих результатів полягає в їх системному використанні при впровадженні ринкових відносин в сфері теплопостачання. Визначені принципи можуть бути покладені в основу формування законодавства про ринок теплової енергії в Україні. Методи оцінки доцільності впровадження локальних ринків теплової енергії дозволяють в індивідуальному порядку для кожної існуючої системи теплопостачання визначати шляхи впровадження і способи функціонування ринку на основі того енергетичного та інтелектуального потенціалу,

який існує в регіоні.

На основі розробленої моделі створено авторський програмний продукт, який може бути використаний при стратегічному плануванні розвитку систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання міст України в якості професіонального інструментарію. Отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Thermal Energy Market».

Представлені в дисертації розрахунки з підвищення рівня техніко-економічної ефективності об'єкта теплогенерації шляхом його підключення до СЦТ м. Києва на конкурентних умовах передано в державне підприємство «Державтотрансндріпроект».

Особистий внесок здобувача.

Основні результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобувачем одноосібно. В наукових роботах, опублікованих в співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: [1, 2, 3] – визначення типів систем теплопостачання та моделей ринку теплової енергії; [4] – методика та результати моделювання локального ринку теплової енергії; [5] – оцінка впливу кількості виробників теплової енергії на ефективність ЛРТЕ; [6] – функціональна структура впровадження ЛРТЕ в умовах існуючих систем теплопостачання України; [7] – формалізація ігрової моделі локального ринку теплової енергії; [8] – методика оптимізації витрат виробника теплової енергії при наявності декількох об'єктів теплогенерації; [9] – техніко-економічний аналіз проекту впровадження ЛРТЕ на базі системи теплопостачання в м. Ірпінь; [10] – порівняльний аналіз ринків теплової та електричної енергії.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях, конкурсах та семінарах: міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність-2013» (Київ, 14-16 жовтня 2013 р.), XIV Всеукраїнський конкурс «Молодь – енергетиці України 2014» (Київ), XVII Всеукраїнський конкурс «Молодь – енергетиці України 2017» (Київ), VIII міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів, 10-12 травня 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку економіки, обліку та права» (Полтава, 14 травня 2018 р.), I міжнародному конгресі «Комфортне місто - майбутнє, інновації, технології» (16-17 травня 2018 р.), X науково-технічній конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2018 р.), 59-тій міжнародній науковій конференції «RTUCON-2018» (Ріга, Латвія, 12-14 листопада 2018 р.), III міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми відновлюваної енергетики, будівництва та екологічної інженерії» (Кельце, Польща, 7-9 лютого 2019 р.), 6-тій міжнародній конференції «Energy Smart Systems» (Київ, 17-19 квітня 2019

р.), 60-тій міжнародній науковій конференції «RTUCON-2019» (Ріга, Латвія, 7-9 листопада 2019 р.), наукових семінарах кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи відображено у 12 наукових працях, у тому числі – в одному розділі у колективній монографії, 4 у наукових фахових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз, 5 тезах доповідей у збірниках матеріалів конференції, одна – в іншому науковому виданні та одному свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, 3 розділів, висновків, бібліографічного списку літератури з 99 найменувань і 3 додатків. Матеріал дисертації ілюструють 40 рисунка і 38 таблиці. Загальний обсяг роботи складає 199 сторінок машинописного тексту, у тому числі 158 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також наведено відомості, апробацію, впровадження та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз світових систем централізованого теплопостачання та функціонування конкурентних ринків теплової енергії де було визначено напрямки подальших досліджень. Світові ринки теплової енергії функціонують відповідно до власних технічних та правових можливостей кожної держави. Однак, повне перенесення зарубіжного досвіду не є можливим, оскільки необхідно враховувати реалії України. В науковому середовищі існує велика кількість математичних моделей, які аналізують та обраховують способи взаємодії виробників та споживачів теплової енергії в рамках СЦТ, однак відсутні математичні або ігрові моделі, які описують характер роботи та економічну ефективність ЛРТЕ при різних умовах в системах теплопостачання, наприклад, в частині кількості учасників ринку, або об'єму споживання теплової енергії.

Існуючий порядок формування тарифів на теплову енергію в Україні не забезпечує умови, при яких будь-яке теплогенеруюче підприємство може розвиватись у розрізі підвищення рівня енергоефективності при виробництві теплової енергії, що в наслідку приводить до підвищення тарифів на теплову енергію для споживача. Аналіз передумов створення ринкових відносин в СЦТ дозволяє зрозуміти невідворотню необхідність впровадження ЛРТЕ, як механізму, який може забезпечити зниження тарифів на опалення та гарячого водопостачання для кінцевого споживача при цивілізованих умовах функціонування систем тепловостачання.

Визначено перелік пріоритетних проблем, які необхідно вирішити при впровадженні локальних ринків теплової енергії для їх ефективного функціонування. Аналіз показав, що без вирішення цих проблем, функціонування будь-якого ЛРТЕ неможливе. Також, враховуючи техніко-економічні особливості систем тепlopостачання України необхідно сформулювати принципи взаємодії всіх учасників ринку між собою, для їх подальшого включення в правила функціонування ЛРТЕ. Також, при впровадженні ринкових відносин, необхідно визначити способи та механізми мотивації всіх учасників ринку при існуючому комунальному підприємству, яке є монополістом в більшості СЦТ міст України.

Визначено термін «ринок теплової енергії» в широкому значенні, де він являє собою сукупність економічних відносин між суб'єктами ринку, які можуть бути присутні або відсутні, в залежності від рівня локалізації системи тепlopостачання, де в якості товару (на який є попит і пропозиція) виступає тепла енергія та супутні товари та послуги, без яких функціонування ринку неможливе. Визначено основні структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами ЛРТЕ та запропоновані відповідні моделі ЛРТЕ в залежності від рівня локалізації системи тепlopостачання. Для першогоетапного впровадження конкурентних відносин пропонується використовувати модель «єдиного покупця», яка є найбільш економічно доцільною через особливості природних монополій в енергетичній сфері.

На основі аналізу сфер тепlopостачання та електропостачання визначено, що ринки електричної та теплової енергії мають загальну основу у вигляді сутності енергетичного ринку. Більшість принципів функціонування РЕЕ можуть бути перенесені на ЛРТЕ при його створенні. Враховуючи спільні ознаки ринків електричної та теплової енергії, можна казати про інтеграцію ЛРТЕ в РЕЕ у майбутньому після його створення, згідно тенденцій розвитку систем централізованого тепlopостачання. Також, можливе прийняття законодавчої бази про РЕЕ за основу, при створенні ЛРТЕ. Визначені відмінності РЕЕ та ЛРТЕ дають змогу оцінити необхідний ступінь опрацювання питання створення і правил функціонування ЛРТЕ. Характеристика локальних ринків теплової енергії має спрощений вид у порівнянні із ринком електричної енергії з точки зору технічних, економічних та юридичних аспектів, що дозволяє уникнути багатьох проблем при запровадженні.

У **другому розділі** визначено перелік капітальних витрат для створення ЛРТЕ. Без забезпечення ЛРТЕ цими витратами, його функціонування неможливе, тому наведена класифікація щодо зон відповідальності при створенні ЛРТЕ: зона виробників, зона тепlopостачальної організації, зона споживачів, зона органів державної влади. Наведено порядок розрахунку капітальних витрат відповідно до класифікації зон відповідальності при створенні ЛРТЕ.

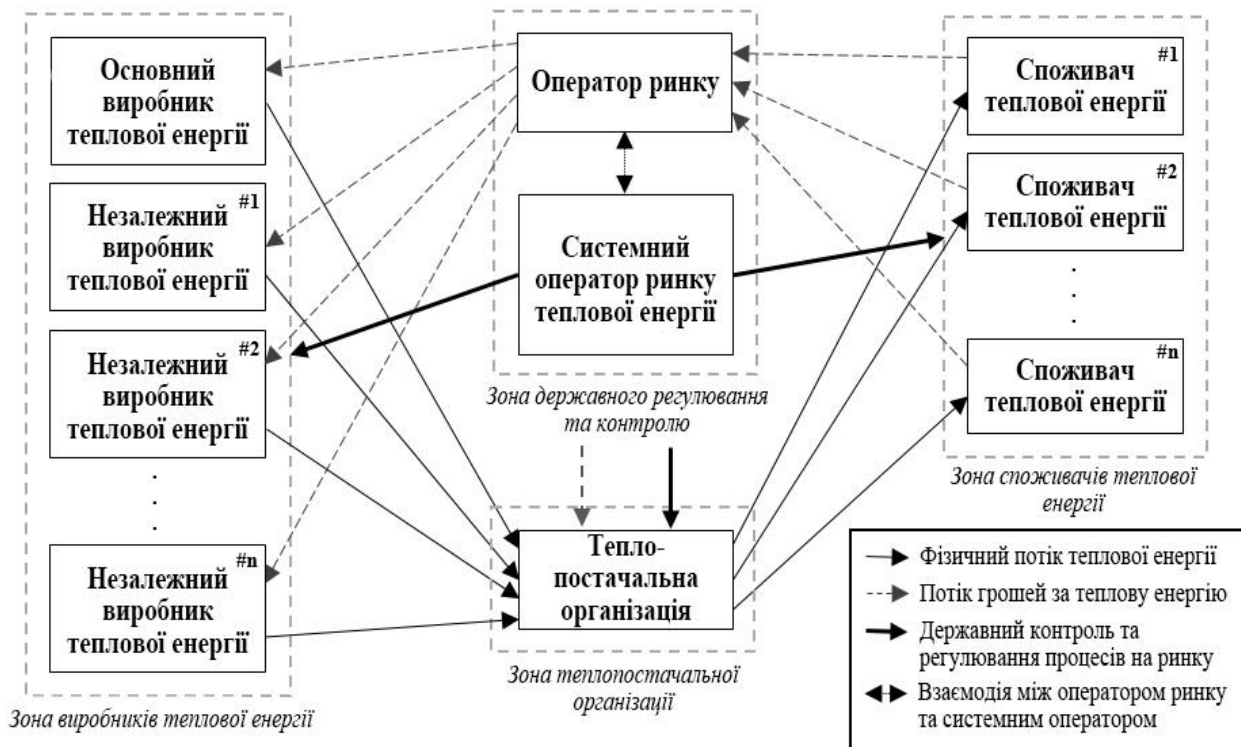


Рис. 1 - Схема структури відносин між суб'єктами ЛРТЕ

Виходячи зі стратегії впровадження конкуренції в секторі теплопостачання України, визначено чітку функціональну структуру локальних ринків теплової енергії в СЦТ міст в комплексі технічних, економічних та управлінських аспектів. Визначено перелік суб'єктів локальних ринків теплової енергії та схема взаємозв'язків між ними. Структура місцевого ЛРТЕ в комплексі технічних, економічних та управлінських аспектів при її експлуатації визначається набором відповідних відносин між п'ятьма типами учасників ринку: виробниками теплової енергії, теплостачальними компаніями, споживачами теплової енергії, оператор ринку та системний оператор ЛРТЕ. Схема структури взаємозв'язку між суб'єктами ринку теплової енергії та схема взаємозв'язку технічних засобів представлена на рис. 1 та на рис. 2 відповідно.

Визначена структура може бути базою для норм законодавства України про функціонування локальних ринків теплової енергії. При впровадженні ЛРТЕ в СЦТ міст є необхідність проведення аналізу на предмет економічної доцільності. Для цього необхідно використовувати аналітичну або ігрову модель, яка б могла оцінити необхідність створення конкурентних умов в тій чи іншій системі. При цьому, важливе значення мають такі параметри, як об'єм споживання теплової енергії в системі та кількість виробників теплової енергії, які приймають участь в ринку. Визначення характеру впливу цих показників на економічну доцільність впровадження ЛРТЕ в системі теплопостачання є пріоритетною задачею. Визначено основні засади моделі ЛРТЕ, на основі яких базується процес її формалізації, для подальшої можливості отримання кількісних показників міри

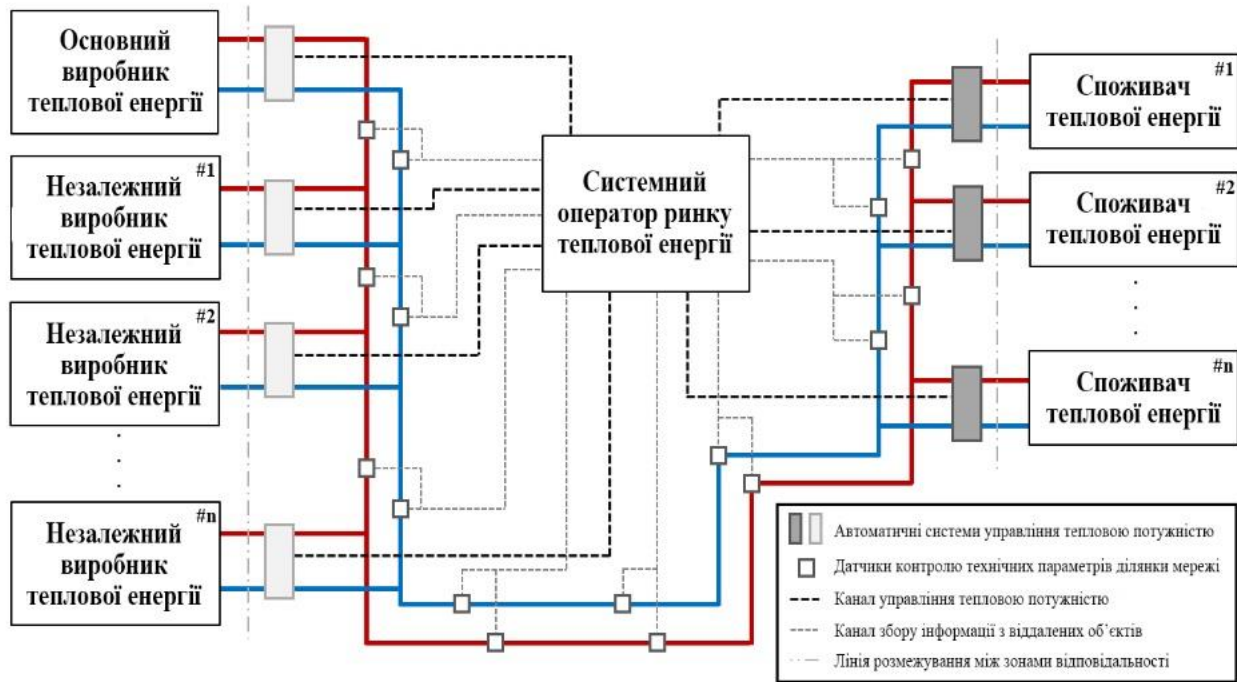


Рис. 2 - Технічні засоби функціонування ЛРТЕ

ефективності ЛРТЕ. На рис. 3 представлена принципова схема складових цільової функції моделі ЛРТЕ.

Дана модель є статичною, і не описує кон'юктурні зміни на ринку протягом його роботи. Статті витрати кожного з виробників визначенні протягом всього часу і є незмінними. Статична модель показує принципові тенденції на ЛРТЕ, і не враховує динамічні, або непередбачувані процеси, які можуть виникати, а саме: неможливість постачання теплової енергії виробником який виграв аукціон із-за технічних неполадок, зміна цін на ресурси в часі, які закладаються у витрати виробників, зміна правил роботи аукціону або законодавчих обмежень на ринку, нестабільність погодних умов.

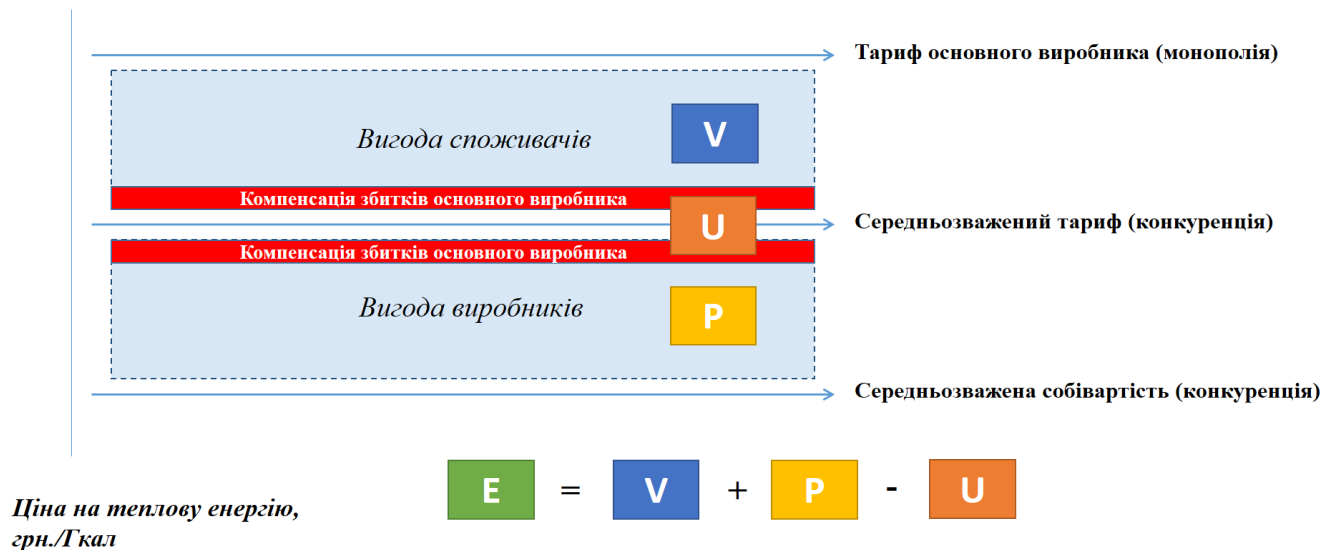


Рис. 3 - Принципова схема складових цільової функції моделі ЛРТЕ

Функція транспортування теплової енергії покладається на основного виробника в системі, оскільки, як правило, теплові мережі є у їх власності. Тому, важливим є контроль стану зносу теплових мереж та вчасний ремонт окремих ділянок. Для цього, необхідно забезпечити певні стимули, щоб загальний відсоток втрат в тепловій мережі був допустимим при функціонуванні ринку.

Структура статичної моделі покладена в основу авторського програмного забезпечення «Thermal Energy Market», яке призначене для виконання ігрового моделювання ЛРТЕ в межах міст, в яких існує СЦТ. В «Thermal Energy Market» проводиться розрахунок технічних та економічних показників теплоенергетичних систем з метою визначення прогнозованої абсолютної та відносної ефективності функціонування ЛРТЕ в місті, в якому він створюється. Програмне забезпечення «Thermal Energy Market» призначене для проектування та розрахунку моделей в системах теплопостачання в частині стратегічного планування розвитку міст. Суть моделювання полягає у визначенні об'єктів ЛРТЕ на карті міста в проекті, їх налаштування, та отримання результатів на основі заданих умов. Програмний інтерфейс «Thermal Energy Market» представлено на рис. 4.

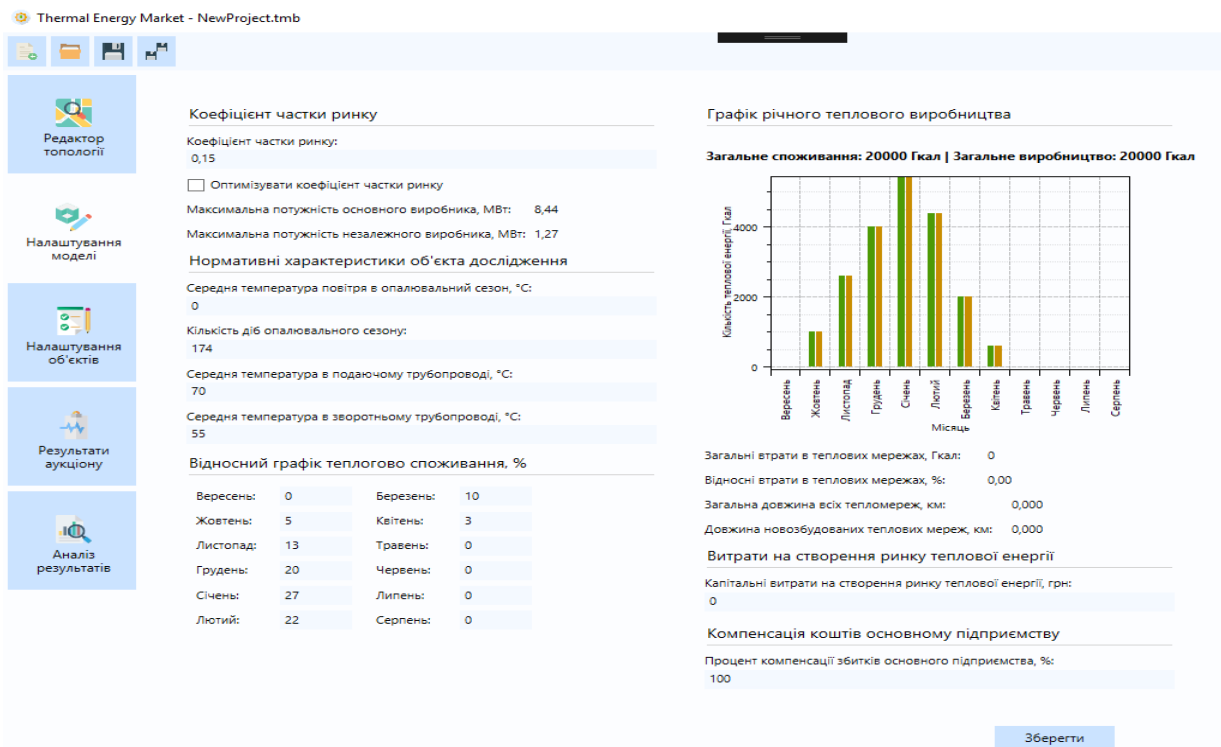


Рис. 4 - Програмний інтерфейс «Thermal Energy Market»

Модель представляє собою наявність в системі трьох типів об'єктів: виробників теплової енергії, споживачів теплової енергії та ділянки теплових мереж, які поєднані в єдину систему транспортування теплової енергії від виробників до споживачів.

Споживачі теплової енергії, як одиниця, характеризуються кількістю теплової енергії, яку вони споживають за рік. Сума цього показника для всіх споживачів формує загальний обсяг споживання теплової енергії в системі тепlopостачання, яка розглядається.

Кожна ділянка теплової мережі враховується як двотрубна (подаючий та зворотній трубопровід) і характеризується такими параметрами як: внутрішній діаметр трубопроводу, тип прокладки (надземна, підземна, канална), типом ізоляції та товщиною ізоляції. На основі цих даних проводиться розрахунок теплових та гідравлічних втрат в тепловій мережі для оцінки впливу взаєморозташування об'єктів у просторі. Методика розрахунку теплових та гідравлічних втрат при функціонуванні ринку теплової енергії, яка використовується в моделі описана в Додатку А.

Виробники теплової енергії характеризуються функцією повних витрат, як залежність від кількості теплової енергії за рік, яку виробник теплової енергії продає в мережу за моделі «єдиного покупця». Вид функції повних витрат залежить від технології, яку використовує виробник теплової енергії, оскільки та чи інша технологія може мати різний рівень постійних та змінних витрат, на який також може впливати місце розташування об'єктів теплогенерації, рівень професіоналізму робітників підприємства, область України, в якій проводиться діяльність, вартість додаткових ресурсів для ведення підприємницької діяльності і т.д. Загальний вид функції повних витрат для кожного виробника теплової енергії представлена у наступному виді:

$$TC = (A_1 + A_2 + A_3) \times Q + (B_1 + B_2 + B_3 + B_4), \quad (1)$$

де:

TC – повні витрати на виробництво теплової енергії за рік, грн.;

Q – кількість виробленої теплової енергії за рік, Гкал.

Характеристика складових функції повних витрат представлена в табл. 1.

Табл. 1 - Характеристика складових функції повних витрат

В даній моделі ЛРТЕ в якості обмеження вводиться поняття частки ринку, тобто максимальна межа кількості теплової енергії, яку може відпустити кожен із виробників за кожен місяць. Частка ринку для і-того виробника (крім основного) визначається коефіцієнтом долі ринку:

Вид витрат	Тип витрат
A ₁ - Паливо	Змінні (грн/Гкал)
A ₂ - Доставка палива	Змінні (грн/Гкал)
A ₃ - Електроенергія	Змінні (грн/Гкал)
B ₁ - Заробітна плата робітничого складу	Постійні (грн/рік(місяць))
B ₂ - Заробітна плата адміністрації	Постійні (грн/рік(місяць))
B ₃ - Амортизація	Постійні (грн/рік(місяць))
B ₄ - Інші витрати	Постійні (грн/рік(місяць))

$$Q_{M_{i,j}}^D = Q_{спj} \cdot MS, \quad (2)$$

де:

$Q_{M_{i,j}}^D$ – доля ринку для і-того виробника j-того місяця, Гкал,

$Q_{спj}$ – попит на теплову енергію j-того місяця, Гкал,

MS – коефіцієнт частки ринку.

Отже, кожен виробник, маючи функцію повних витрат та рівень планового прибутку, виходячи з ринкових умов та можливої кількості проданої теплової енергії, розраховує прогнозований тариф на відпуск теплової енергії, та подає в якості заявки на аукціон. Прогнозований тариф на теплову енергію для кожного виробника складе:

$$T_i = \frac{A_i \cdot \sum_{n=1}^{j-1} Q_{M_{i,j}}^3 + B_i + P}{\sum_{n=1}^{j-1} Q_{M_{i,j}}^3} \quad (3)$$

де:

T_i – прогнозований тариф на теплову енергію і-того виробника, грн./Гкал,

A_i – сума змінних витрат і-того виробника, грн./Гкал,

B_i – сума постійних витрат і-того виробника, грн./Гкал.

На основі поданих заявок виробників в яких зазначаються такі параметри як T_i та $Q_{M_{i,j}}^3$, проводиться аукціон, де визначаються переможці, які по поданим тарифам і об'ємам будуть продавати теплову енергію в і-тому місяці.

Заявки сортуються за ціновими пропозиціями в напрямку збільшення. Сума заявок переможців для j-того місяця визначається умовою:

$$\sum_{n=1}^{i-1} Q_{M_{i,j}}^3 = Q_{спj} \quad (4)$$

де:

n – номер останнього виробника-переможця.

Якщо заявочний об'єм теплової енергії останнього виробника-переможця повністю не покриває попит j-того місяця, то враховується лише частина заявочного об'єму:

$$Q_{M_{n,j}}^3 = Q_{спj} - \sum_{n=1}^{i-1} Q_{M_{i,j}}^3 \quad (5)$$

де:

$Q_{M_{n,j}}^3$ – частина заявочного об'єму теплової енергії останнього виробника-переможця яка покриває попит j-того місяця.

В якості результату проведеного аукціону формується матриця виробників-переможців аукціону.

На основі матриці виробників-переможців аукціону розраховується сумарна вартість спожитої теплової енергії в j-тому місяці на ринку:

$$C_{\text{сп}j} = \sum_{i=1}^{12} (Q_{\text{м}i,j}^3 \cdot T_i) \quad (6)$$

де:

$C_{\text{сп}j}$ – сумарна вартість спожитої теплової енергії в j -тому місяці, грн.

Середньозважений тариф на відпуск теплової енергії в j -тому місяці:

$$T_j^{\text{с.зв.}} = \frac{C_{\text{сп}j}}{Q_{\text{сп}j}} \quad (7)$$

Після проведення аукціонів за кожен місяць опалювального сезону, кожен з виробників матиме свій фінансовий результат, який буде відображати успішність роботи даного виробника на ЛРТЕ.

Величина річного середньозваженого тарифу на теплову енергію з врахуванням компенсації збитків основному виробнику складає:

$$T^{\text{с.зв.}} = \frac{\sum_{n=1}^{j-1} C_{\text{сп}j} + p \cdot U_1}{\sum_{n=1}^{j-1} Q_{\text{сп}j}} \quad (8)$$

де:

U_1 - величина збитків основного виробника за рік, грн.,

p – коефіцієнт покладання компенсації збитків основного виробника на споживачів, $0 \leq p \leq 1$.

Однією із задач моделювання є визначення оптимального коефіцієнту частки ринку при визначеній кількості виробників теплової енергії та кількості спожитої кількості теплової енергії за рік споживачами на ринку.

Вигоду від впровадження ЛРТЕ необхідно розглядати з точки зору різниці в вартості спожитої теплової енергії та середньозважених тарифах на теплову енергію при його функціонуванні та відсутності. Саме ця різниця виступає цільовою функцією для оптимізації роботи ЛРТЕ, де обмеженням виступає коефіцієнт частки ринку.

При відсутності ЛРТЕ прогнозований тариф для основного виробника складає:

$$T_1 = \frac{A_i \cdot \sum_{n=1}^{j-1} Q_{\text{сп}j} + B_i + P}{\sum_{n=1}^{j-1} Q_{\text{сп}j}} \quad (9)$$

Різниця в тарифах на теплову енергію при функціонуванні та відсутності ЛРТЕ, грн/Гкал:

$$\Delta T = T_1 - T^{\text{с.зв.}} \quad (10)$$

Вигода від впровадження ЛРТЕ із врахуванням компенсації збитків основного виробника, грн:

$$V = \Delta T \cdot \sum_{n=1}^{j-1} Q_{\text{сп}j} \quad (11)$$

Сума прибутків незалежних виробників, грн:

$$P = \sum_{n=1}^{i-1} TP_i - (1 - p) \cdot U_1 \quad (12)$$

Для розрахунку терміну окупності ЛРТЕ, необхідно знати основні дві величини: сума капітальних витрат на створення ЛРТЕ - C_{Σ}^{PTE} , та загальну вигоду від створення ЛРТЕ при його функціонуванні за один календарний рік. Таким показником виступає абсолютна ефективність ЛРТЕ. Даний показник є сумою вигоди від впровадження ЛРТЕ із врахуванням компенсації збитків основного виробника (V) і суми прибутків незалежних виробників (P), грн:

$$E = V + P \quad (13)$$

Абсолютна ефективність ЛРТЕ, як показник, не може бути показовим при порівнянні ефективностей локальних ринків в різних системах теплопостачання. Тому, для порівняння рівня успішності впровадження конкурентних умов в системах теплопостачання міст пропонується використовувати відносну ефективність ЛРТЕ, яка являє собою відношення абсолютної ефективності ринку до загальної вартості спожитої теплової енергії за рік:

$$e = \frac{E}{T_1 \sum_n^{j=1} Q_{сп,j}} \quad (14)$$

При визначених параметрах виробників, споживачів теплової енергії та теплових мереж з'являється задача оптимізації, яка полягає у знаходженні оптимальної відносної ефективності ЛРТЕ "e" при зміні коефіцієнту частки ринку "MS". Для даної задачі цільова функція має вигляд:

$$e(MS) = 1 - \frac{\sum_n^{j=1} \sum_{i=1}^3 (Q_{Mij}^3 \cdot \frac{A_j \cdot \sum_n^{j=1} Q_{сп,j} \cdot MS + B_j + P}{\sum_n^{j=1} Q_{сп,j} \cdot MS}) + P \cdot U_1}{\sum_n^{j=1} Q_{сп,j}} \cdot \sum_n^{j=1} Q_{сп,j} + \sum_{i=1}^3 TP_i - (1 - p) \cdot U_1 \rightarrow \max \quad (15)$$

Для даної задачі оптимізації існують наступні обмеження:

$$0 < MS \leq 1 \quad (16)$$

Дана задача може бути вирішена методом перебору значень MS з визначеним кроком.

Вигоду від впровадження ЛРТЕ необхідно розглядати з точки зору різниці в вартості спожитої теплової енергії та середньозважених тарифах на теплову енергію при його функціонуванні та відсутності. З іншої сторони розглядається сумарна величина прибутків виробників. Сума цих двох показників є цільовою функцією моделі ЛРТЕ.

Запропоновано метод оцінки функції повних витрат виробників теплової енергії, які приймають участь в локальному ЛРТЕ на основі їх техніко-технологічних властивостей з якими вони стають гравцями ринку. Визначено основні процедурні аспекти проведення аукціонів куплі-продажу теплової енергії, де запропоновано, в якості механізмів державного регулювання ЛРТЕ такі показники як «коефіцієнт частки ринку» та «компенсація збитків основного виробника», для забезпечення

плавної інтеграції незалежних виробників теплової енергії при паралельному задоволенні інтересів комунального підприємства в існуючій СЦТ.

Визначено аналітичний метод оптимізації витрат виробників теплової енергії в умовах «неповного виграшу» аукціону куплі-продажу теплової енергії в умовах наявності декількох об'єктів теплогенерації в одного виробника теплової енергії.

Формалізовано міру ефективності ЛРТЕ для оцінки доцільності впровадження ринкових відносин в централізованих та помірно-централізованих системах тепlopостачання. Оцінка ефективності ЛРТЕ може бути визначальною при аналізі СЦТ в частині впровадження конкурентних відносин між виробниками теплової енергії.

У **третьому розділі** в результаті дослідження існуючого об'єкту теплогенерації виявлено, що об'єкт дослідження - державне підприємство «Державтотрансндріпроект» має потенціал, щодо підвищення рівня техніко-економічної ефективності шляхом будівництва додаткового відновлювального джерела енергії і визначається зниженням рівня витрат на виробництво теплової енергії на рівні 4,6%. За рахунок підключення до СЦТ вдалося максимально завантажити більш економічні потужності, що надало вигоду по відношенню до всіх сторін, які приймають участь в процесі постачання та споживання теплової енергії. В наслідок підключення об'єкту дослідження - державного підприємства «Державтотрансндріпроект» до СЦТ спостерігається зниження витрат на виробництво теплової енергії на власні потреби на 22,2%. Також, за рахунок продажу надлишкової кількості енергії по конкурентній ціні в теплову мережу, вдалося отримати додатковий прибуток, для подальшої модернізації об'єкту дослідження. Проведений аналіз дозволяє зрозуміти технічні аспекти підключення незалежних виробників до СЦТ міста для участі в ЛРТЕ.

Проведено аналіз умов функціонування ЛРТЕ для міста Ірпінь. За результатами моделювання взаємодії 8 виробників, які мають різні технології виробництва теплової енергії на ринку об'ємом споживання в 42 тис. Гкал, оптимізовано коефіцієнт частки ринку згідно визначених умов на ЛРТЕ, який дорівнює 0,15. В програмному забезпеченні «Thermal Energy Market» визначено, що при оптимальному коефіцієнті частки ринку, який складає 0,15, при тарифі основного виробника в 1835,1 грн./Гкал, середньозавжаний тариф для споживачів буде приблизно на 11 % нижче при функціонуванні ЛРТЕ і складає 1629,1 грн./Гкал. Згідно результатів моделі, відносна ефективність ЛРТЕ в місті Ірпінь при заданих умовах склала 27,04 %.

На основі розрахованої величини капітальних витрат для створення ЛРТЕ в місті Ірпінь простий термін окупності ЛРТЕ складає 6,7 років, а ДТО складає 13,2 років при ставці дисконту 14 %. В роботі не визначалися джерела фінансування створення ЛРТЕ. За результатами розрахунку при підвищенні об'єму споживання

теплової енергії в 2 рази, відносна ефективність ЛРТЕ підвищилась до 33,21%. Результати моделювання представлені в табл. 2.

Табл. 2 - Результати роботи ринку теплової енергії в м. Ірпінь

Тип системи яка моделюється	РТЕ без компенсації	РТЕ з компенсацією	РТЕ з компенсацією (обсяг спож. x2)	При відсутності РТЕ
Обсяг споживання теплової енергії, Гкал	42 137	42 137	82 274	42 137
Обсяг виробництва теплової енергії, Гкал	53 107	53 107	98 396	48 065
Відносні втрати теплової енергії, %	20,66	20,66	14,35	12,33
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	62 425 801	68 648 270	130 218 088	77 325 682
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1481,5	1629,1	1545,2	1835,1
Абсолютна вигода для споживачів, грн	11 788 645	8 677 411	15 783 123	-
Абсолютна вигода для виробників, грн	15 345 396	12 234 161	27 462 308	-
Абсолютна ефективність РТЕ	27 134 041	20 911 573	43 245 431	-
Відносна вигода для споживачів, %	15,24	11,22	12,12	-
Відносна вигода для виробників, %	19,84	15,82	21,09	-
Відносна ефективність РТЕ, %	35,08	27,04	33,21	-

Отримано залежність ефективності ЛРТЕ від об'єму споживання. Визначено, що при збільшенні об'єму споживання, ефективність ЛРТЕ зростає, за рахунок згладжування постійних витрат виробників і рівня компенсації витрат основному виробнику.

Отримано залежність ефективності ЛРТЕ від кількості виробників. Характер впливу кількості виробників теплової та обсягу споживання теплової енергії на ефективність ЛРТЕ представлено на рис. 5.

Визначено, що питомий об'єм споживання теплової енергії віднесений до одиниці довжини теплової мережі має визначальний вплив на відносну ефективність ЛРТЕ.

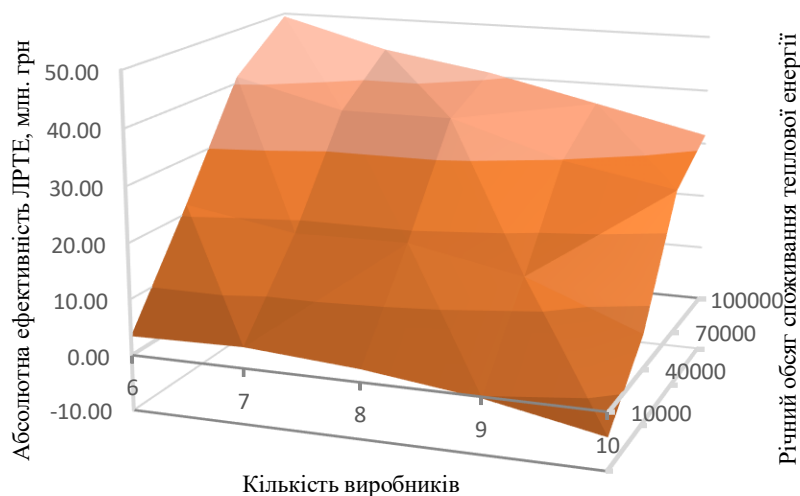


Рис. 5 - Характер впливу кількості виробників теплової та обсягу споживання теплової енергії на ефективність ЛРТЕ

Для міста Ірпінь за допомогою регресійного аналізу, визначено функцію залежності відносної ефективності ЛРТЕ від питомого об'єму споживання системою теплової енергії, яка визначає критичну точку доцільності впровадження ЛРТЕ на рівні 174 Гкал/км. Графік залежності відносної ефективності ЛРТЕ від питомого об'єму споживання системою теплової енергії представлено на рис. 6.

Результати дисертаційної роботи передано до використання ДП «Державтотрансндрпроект», (акт впровадження від 15.10.2019): в результаті дослідження розроблено технічні рішення з підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів та наявного обладнання на об'єкті автономної теплогенерації.

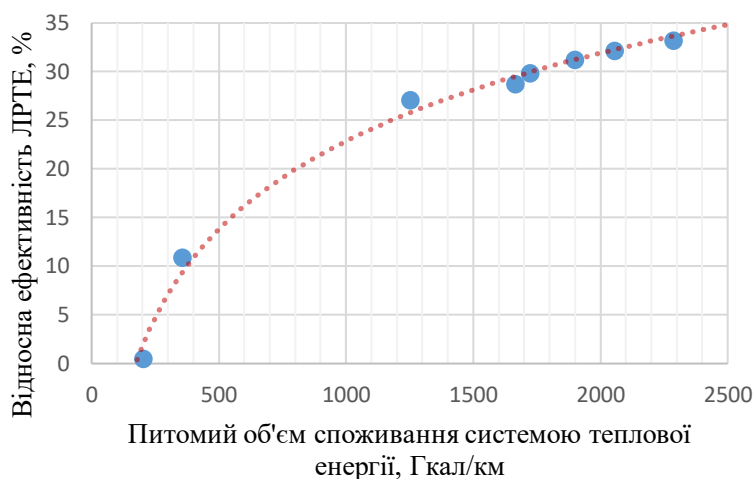


Рис. 6 - Графік залежності відносної ефективності ЛРТЕ від питомого об'єму споживання системою теплової енергії

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові науково обгрунтовані результати застосування методів та засобів оцінки впровадження конкурентних відносин в сфері теплопостачання України, які показують, що ЛРТЕ виступають механізмом, який може забезпечити використання відновлюваних джерел енергії в СЦТ, знизити рівень тарифів на теплову енергію та підвищити якість теплопостачання. Висновки, що узагальнюють отримані наукові та практичні результати, полягають у наступному:

1. Визначено та розроблено принципи функціонування ЛРТЕ в межах існуючих систем теплопостачання міст України, де запропоновано структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами ЛРТЕ та відповідний розподіл їх зон відповідальності, функціональну структуру ЛРТЕ, технічні засоби функціонування ЛРТЕ, використання моделі «єдиного покупця», що враховує особливості енергетичних ринків, як явища.

2. Порівняльний аналіз РТЕ та РЕЕ показав, що слід враховувати досвід впровадження РЕЕ в Україні через присутність спільних ознак, які притаманні енергетичним ринкам. Визначені відмінності між РЕЕ та РТЕ, а також, між тепловою та електричною енергією, як товарами на відповідних ринках, дозволяють використовувати законодавче забезпечення щодо РЕЕ в частині їх адаптації для РТЕ.

3. Формалізовано міру ефективності ЛРТЕ для оцінки доцільності впровадження ринкових відносин в централізованих та помірно-централізованих системах теплопостачання. Розроблено метод оцінки впровадження та функціонування ЛРТЕ в рамках існуючих систем теплопостачання. Оцінка ефективності ЛРТЕ може бути визначальною при аналізі систем теплопостачання в частині впровадження конкурентних відносин між виробниками теплової енергії.

4. Розроблено аналітичний метод оптимізації витрат виробників теплової енергії в умовах «неповного виграшу» аукціону куплі-продажу теплової енергії в умовах наявності декількох об'єктів теплогенерації в одного виробника теплової енергії.

5. Дослідження державного підприємства «Державтотрансндріпроект», показало, що за рахунок підключення до СЦТ вдалося максимально завантажити більш економічні потужності, що надало вигоду по відношенню до всіх сторін, які приймають участь в процесі постачання та споживання теплової енергії. Після підключення об'єкта дослідження ДП «Державтотрансндріпроект» до СЦТ спостерігається зниження витрат на виробництво теплової енергії на власні потреби на 22,2%. Також, за рахунок продажу надлишкової кількості енергії по конкурентній ціні в теплову мережу, вдалося отримати додатковий прибуток, для подальшої модернізації об'єкта дослідження.

6. За результатами моделювання взаємодії 8 виробників, які мають різні технології виробництва теплової енергії на ринку обсягом споживання в 42 тис. Гкал в місті Ірпінь, оптимізовано коефіцієнт частки ринку згідно визначених умов на ЛРТЕ, який дорівнює 0,15. При оптимальному коефіцієнті частки ринку, який складає 0,15, при тарифі основного виробника в 1835,1 грн./Гкал, середньозважений тариф для споживачів став на 11 % нижче при функціонуванні ЛРТЕ і складає 1629,1 грн./Гкал. Згідно результатів моделі, відносна ефективність ЛРТЕ в місті Ірпінь при заданих умовах склала 27,04 %. На основі розрахованої величини капітальних витрат для створення ЛРТЕ в місті Ірпінь простий термін окупності ЛРТЕ складає 6,7 років, а ДТО складає 13,2 років при ставці дисконту 14 %. За результатами розрахунку при підвищенні обсягу споживання теплової енергії в 2 рази, відносна ефективність ЛРТЕ підвищилась до 33,21%.

7. Отримано залежність ефективності ЛРТЕ від обсягу споживання. Визначено, що при збільшенні обсягу споживання, ефективність ЛРТЕ зростає, за рахунок згладжування постійних витрат виробників і рівня компенсації витрат основному виробнику. Отримано залежність ефективності ЛРТЕ від кількості виробників. Визначено, що питомий обсяг споживання теплової енергії віднесений до одиниці довжини теплової мережі має визначальний вплив на відносну ефективність ЛРТЕ.

8. Розроблено програмне забезпечення «Thermal Energy Market», яке дозволяє враховувати географічне розташування об'єктів (виробники, споживачі теплової енергії, теплові мережі) в просторі для оцінки теплових та гідравлічних втрат енергії при моделюванні функціонування ЛРТЕ. Програмне забезпечення дозволяє розробляти проекти з впровадження ринкових відносин в системах теплопостачання міст та оцінювати ефективність ЛРТЕ при визначених умовах. Отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Результати дисертаційної роботи в подальшому можуть бути використані при формуванні законодавства про ринок теплової енергії в Україні. Розроблений інструментарій з аналізу ефективності ЛРТЕ може бути використаний при стратегічному плануванні розвитку систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання міст України.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of aspects and simulation modeling of the thermal energy market in Ukraine," in Management of technological processes in energy technologies under the general editorship of Anatoliy M. Pavelko, Kielce, *Politechnika Swietokrzyska*, 2019, pp. 7-49. (колективна монографія).

2. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of conditions for the creation of the local thermal energy market in Ukraine", *Комунальне господарство міст*, vol. 7, no. 146, с. 68-76, 2018. (фахове видання, включене до бази даних Directory of Open Access Journals).

3. В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Оцінка ефективності функціонування локального ринку теплової енергії», *Проблеми загальної енергетики*, т. 3, № 50, с. 41-49, 2017. (фахове видання, включене до баз даних Index Copernicus та Ulrich's Periodical Directory).

4. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Техніко-економічний аналіз створення ринку теплової енергії в Україні», *Енергетика: економіка, технології, екологія*, т. 2, с. 26-37, 2018. (фахове видання, включене до бази даних Index Copernicus).

5. В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Аналіз принципів формування локальних ринків теплової енергії в системах централізованого теплопостачання», *Проблеми загальної енергетики*, т. 4, № 55, с. 51-58, 2018. (фахове видання, включене до баз даних Index Copernicus та Ulrich's Periodical Directory).

6. Д. С. Карпенко та В. І. Дешко, «Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України. Енергетика та електрифікація», *Енергетика та електрифікація*, т. 2, № 390, с. 18-23, Лютий 2016.

7. V. I. Deshko, A. I. Zamulko, D. S. Karpenko, A. Mahnitko and O. Linkevics, "Evaluation of the district heating market efficiency as the function of its size and number of competing suppliers" in *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, Riga, 2018. (Scopus)

8. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Functional structure of the local thermal energy market in district heating" in *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems*, Kyiv, 2019. (Scopus)

9. Anatolijs Mahnitko, Yurii Veremiichuk, Valerii Deshko, Dmytro Karpenko, "Scenario analysis for increasing efficiency level of the autonomous generation object in

central heat supply" in 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, Riga, 2019. (Scopus)

10. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Імітаційне моделювання та оптимізація ринку теплової енергії», в *Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем»*, Том 2, - с. 231-232, Чернігів, 2018.

11. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Методика оптимізації витрат об'єктів теплогенерації підприємств на локальному ринку теплової енергії», в *Матеріали X науково-технічної конференції Інституту Енергозбереження та Енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина»*, - с. 191-194, Київ, 2018.

АНОТАЦІЯ

Карпенко Д.С. Розроблення наукових засад впровадження ринків теплової енергії в системах теплопостачання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2020.

У дисертаційній роботі автором розроблено наукові засади побудови та функціонування локальних ринків теплової енергії в межах існуючих систем теплопостачання міст України, та запропоновано структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами локального ринку теплової енергії та відповідний розподіл їх зон відповідальності, функціональну структуру локальних ринків теплової енергії, технічні засоби функціонування локальних ринків теплової енергії. Визначено основні засади моделі локального ринку теплової енергії, на основі яких розроблено методи та засоби оцінки впровадження локальних ринків теплової енергії. Виконано формалізацію та розроблено імітаційну модель локального ринку теплової енергії, в якій власність основного вертикально-інтегрованого теплопостачального підприємства розподілена між відносно самостійними підприємствами з виробництва та транспортування теплової енергії (анбандлінг) з наданням вільного доступу до теплових мереж незалежним виробникам теплової енергії, що дозволяє кількісно визначати економічно доцільний потенціал підвищення ефективності функціонування ринку. Розроблено метод розподілу обсягів виробництва теплової енергії для виробників – учасників локального ринку теплової енергії, який дозволяє визначати оптимальний розподіл обсягів виробництва теплової енергії між їх об'єктами теплогенерації.

Результати дисертаційної роботи в подальшому можуть бути використані при оцінці доцільності впровадження локальних ринків теплової енергії і дозволяють в індивідуальному порядку для кожної існуючої системи тепlopостачання визначати шляхи впровадження і способи функціонування ринку. Результати роботи впроваджено державним підприємством «Державтотрансндріпроект» для підвищення ефективності роботи джерела теплової енергії в рамках ринкових відносин.

Ключові слова: локальний ринок теплової енергії, система тепlopостачання, теплова енергія, ефективність ринку, сфера теплоенергетики.

ABSTRACT

Karpenko D.S. Development of scientific bases for thermal energy markets implementation in heat supply systems. - Qualification scientific thesis. Manuscript.

Thesis for the Academic Degree of Candidate of Technical Science 05.14.01 - Power Systems and Complexes. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine. - Kyiv, 2020.

In the dissertation the author developed scientific principles of construction and functioning of local thermal energy markets within the existing heat supply systems of Ukrainian cities, and proposed structural schemes of relations between the subjects of the local thermal energy market and the corresponding distribution of their areas of responsibility, functional structure of markets. means of functioning of local thermal energy markets. The basic principles of the model of the local heat market are determined, on the basis of which the methods and means of estimating the implementation of the local thermal energy markets are developed. Formalization and simulation of the local heat market have been developed, in which the ownership of the main vertically integrated heat supply company is distributed among relatively independent enterprises for production and transportation of heat (unbundling) with free access to heat networks to independent heat producers, which allows to quantify economically feasible potential to increase the efficiency of the market. A method of distribution of thermal energy production for producers - participants of the local thermal energy market has been developed, which allows to determine the optimal distribution of thermal energy production between their heat generation facilities.

The results of the dissertation can be further used in assessing the feasibility of local heat markets and allow individually for each existing heating system to determine ways of implementation and ways of functioning of the market. The results of the work were implemented by the state enterprise Derzhavtotransndiproekt to increase the efficiency of the thermal energy source within the framework of market relations.

Keywords: local market of thermal energy, system of heat supply, thermal energy, market efficiency, sphere of heat energy.